

半导体器件仿真

朱霖

2024年7月22日

目录

一、半导体器件模拟方法

二、TCAD软件

三、RASER

四、DEVSIM仿真

➤ C-V仿真

➤ I-V仿真

一、半导体器件模拟方法

➤ 器件等效电路模拟法

依据半导体器件的输入、输出特性建立模型分析它们在电路中的作用，而不关心器件内部的微观机理，在电路模拟中常用这种方法。

➤ 器件物理模拟法

从器件内部载流子的状态及运动出发，依据器件的几何结构及杂质分布，建立严格的物理模型及数学模型，运算得到器件的性能参数，这种方法能深刻理解器件内部的工作原理、能定量分析器件性能参数与设计参数之间的关系。

一、半导体器件模拟方法

器件物理模拟法

◆ 有限差分法：

最简单、离散数值模拟方法

◆ 有限元法（综合计算复杂度及解多维电场需求）：

离散数值模拟方法、自适应计算

◆ 蒙特卡洛法：

统计模拟方法、计算冗繁

一、半导体器件模拟方法

器件物理模拟基本模型

- 在半导体器件中，电流传导靠的是电子和空穴的移动，因此电子和空穴被统称为载流子。
- 通过建立载流子的运输模型来模拟半导体器件的电学特性

漂移扩散模型

- Poisson 方程: $-\nabla \cdot (\epsilon \nabla \psi) = q(p - n + N_D - N_A) \quad \text{in } \Omega,$
- 空穴连续性方程: $\frac{\partial p}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{J}_p - R_p(\psi, p, n) \quad \text{in } \Omega$
- 电子连续性方程: $\frac{\partial n}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{J}_n - R_n(\psi, p, n) \quad \text{in } \Omega$

Poisson方程确定电势的分布，连续性方程则描述了在电场、浓度梯度等作用下的载流子浓度分布。

二、TCAD软件

商业TCAD软件：

- 1、Synopsys Sentaurus （工艺模拟+器件模拟）
- 2、Silvaco （工艺模拟+器件模拟）

.....

自研仿真软件：

- 1、Allpix2 （Si 器件）
- 2、**RASER**

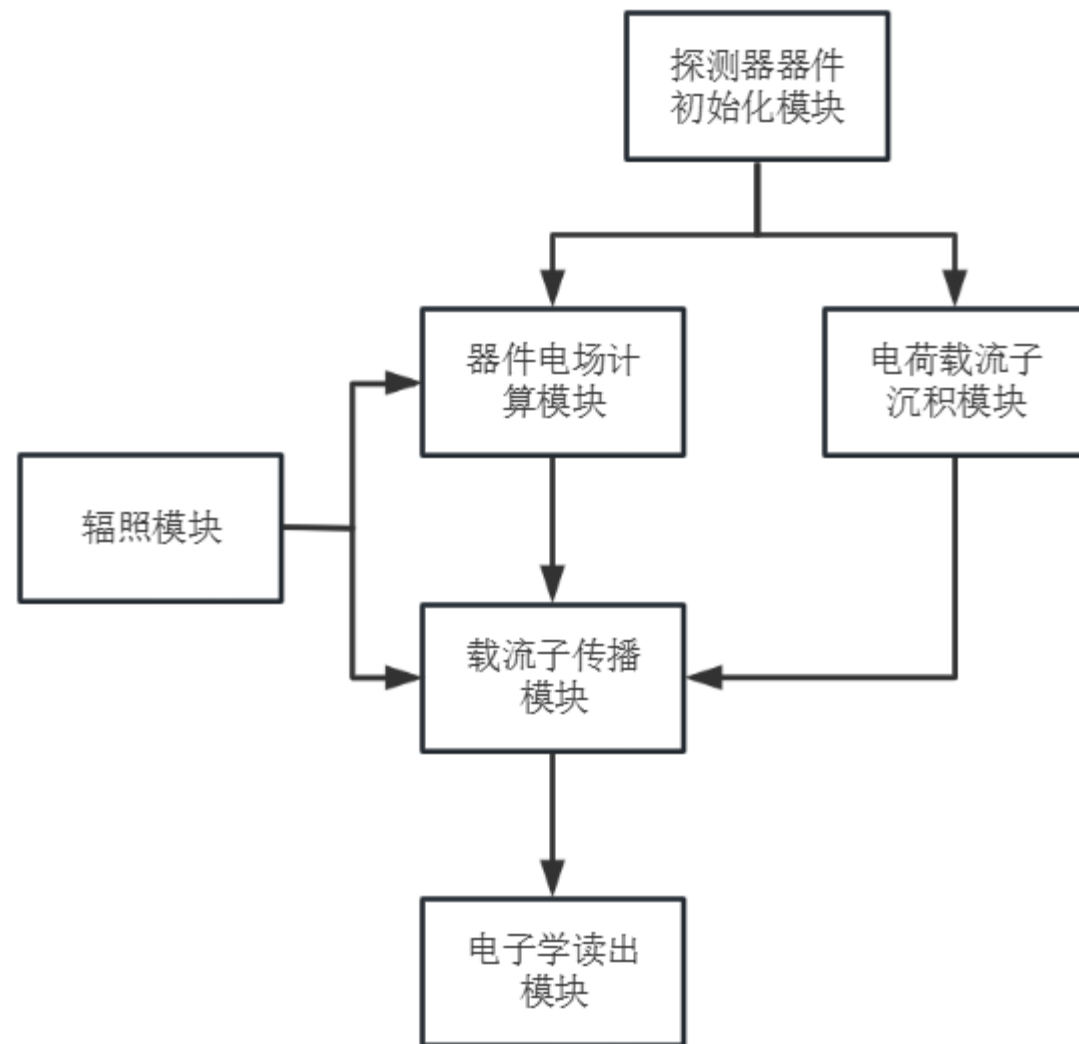
.....

三、RASER--功能

- DEVSIM解电场 1D/2D/3D
- 器件I-V C-V 曲线仿真
- TCT扫描.....
- 具体器件：
 - ✓ PIN
 - ✓ LGAD
 - ✓ Si-strip

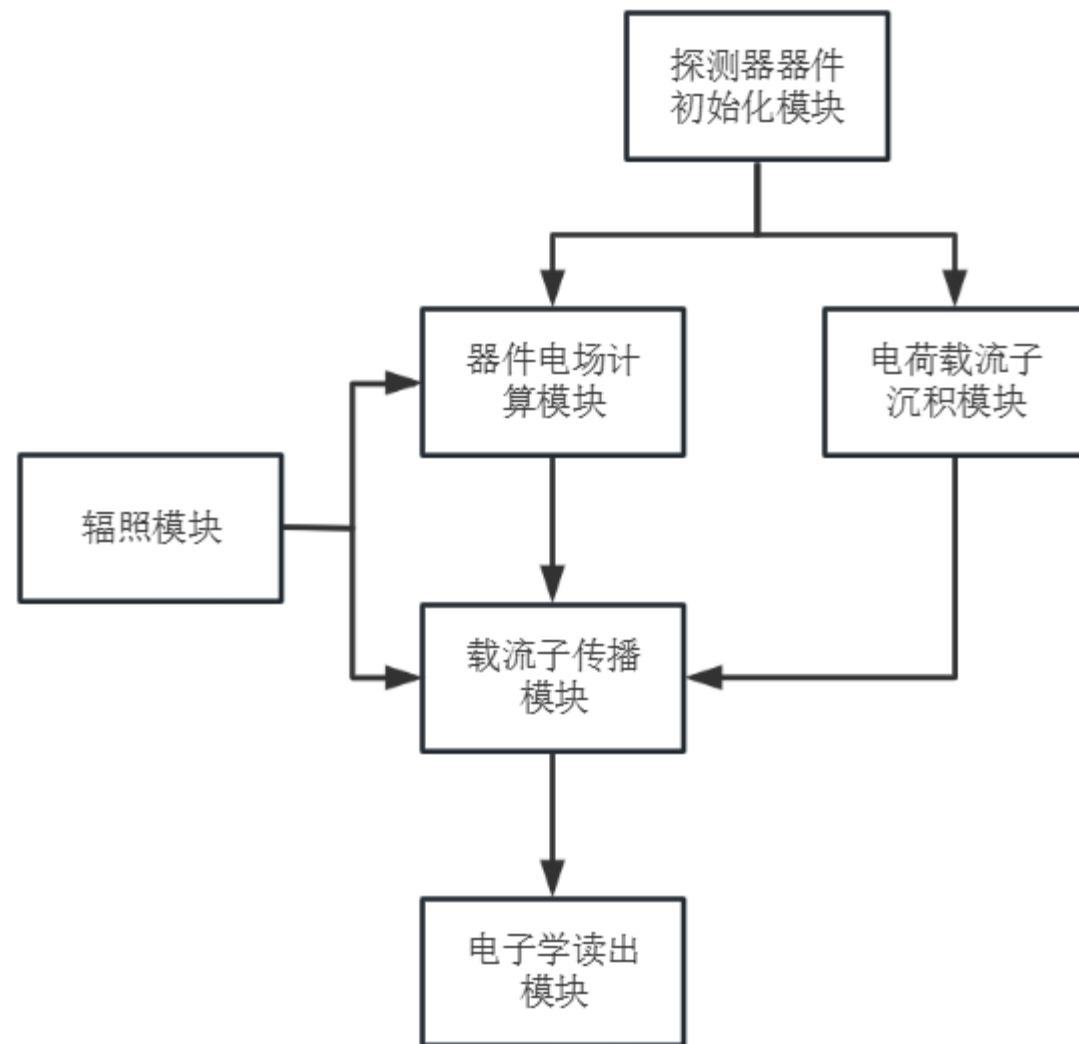
三、RASER--框架

1. 利用器件初始化模块设定LGAD的尺寸，以及设定所述LGAD上每个设定位置的掺杂浓度、电极的位置尺寸及电压、粒子属性、激光属性；
2. 器件电场计算模块根据所述LGAD的尺寸、每个设定位置的掺杂浓度、电极的位置尺寸构建LGAD模型；采用有限元方法将所述LGAD分割为多个微元，并利用有限元求解器DEVSIM求解每一微元内的电势，根据电势梯度求解电场；
3. 电荷载流子沉积模块利用Geant4获得在每个微元中的粒子的生成和传播，并将每个微元内产生的能量沉积转化为电荷载流子沉积，用于激发载流子；

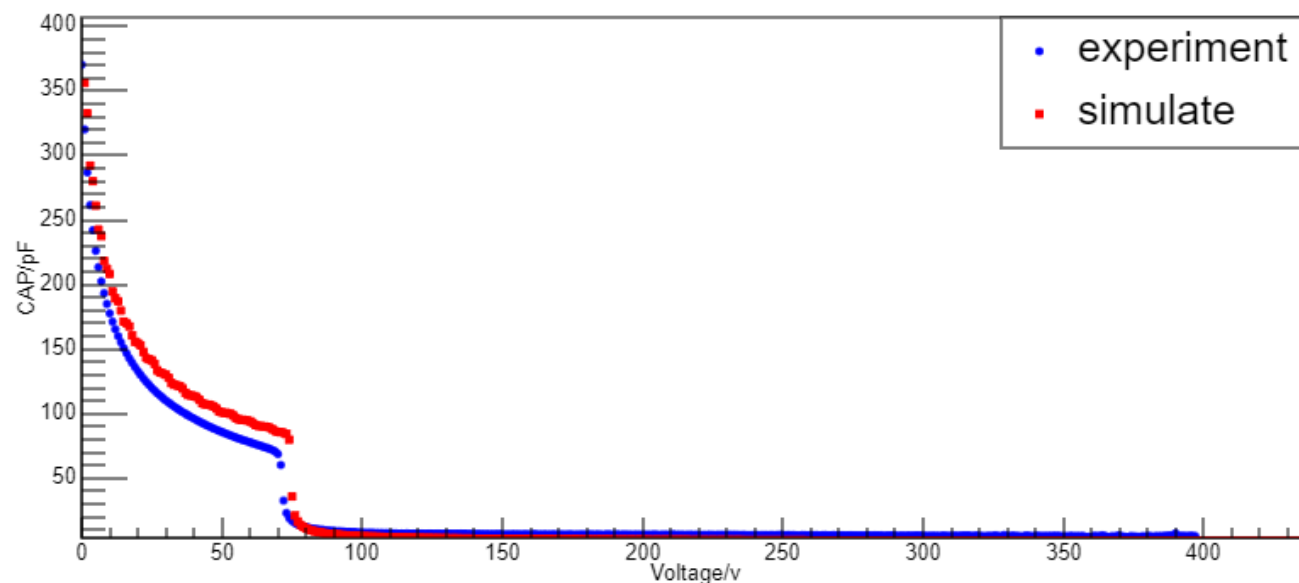
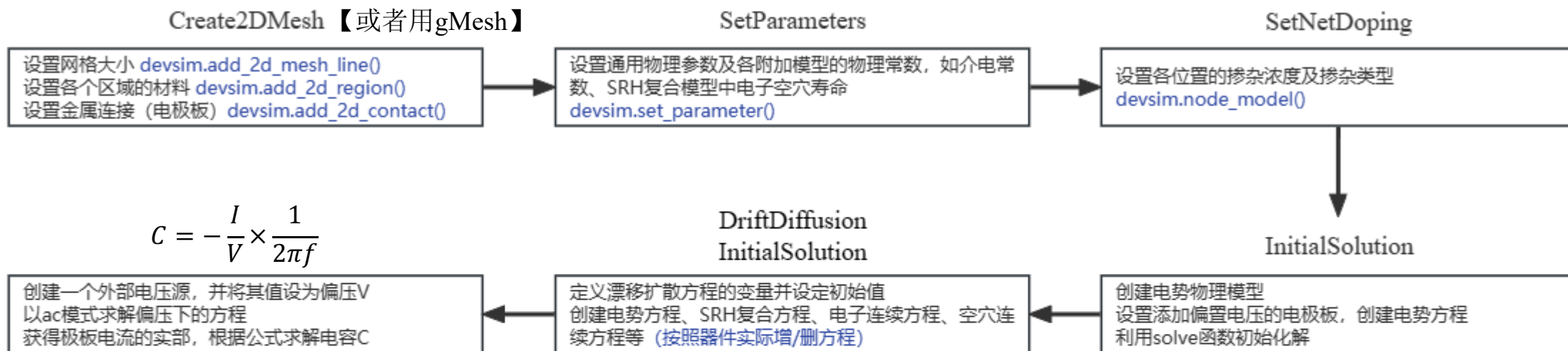


三、RASER--框架

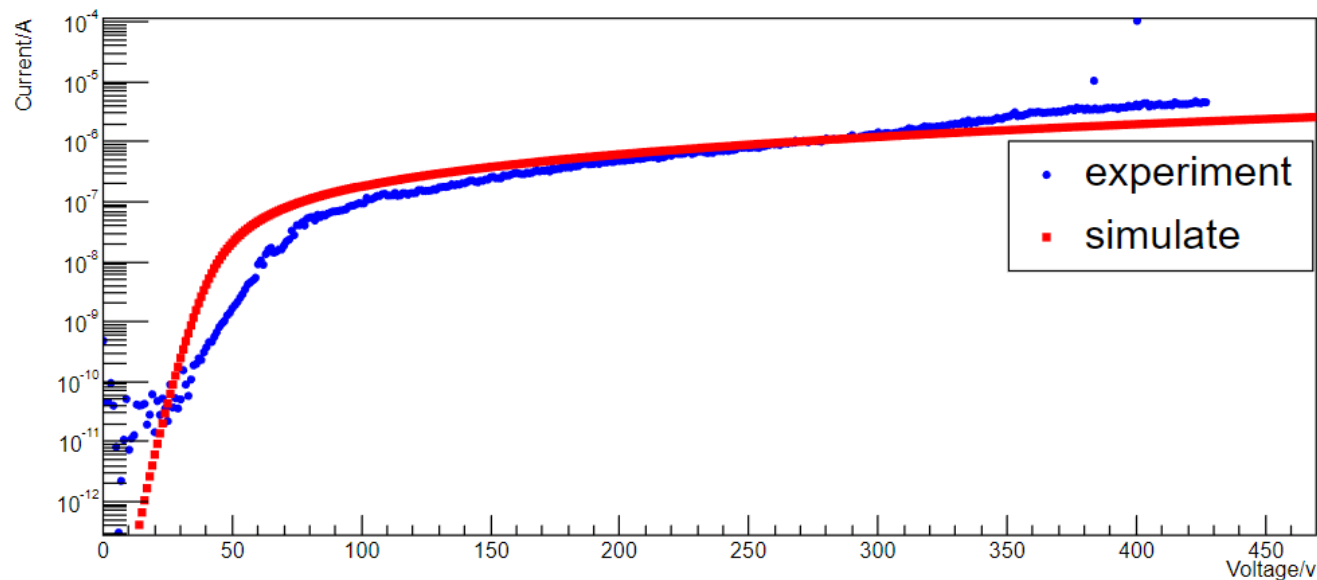
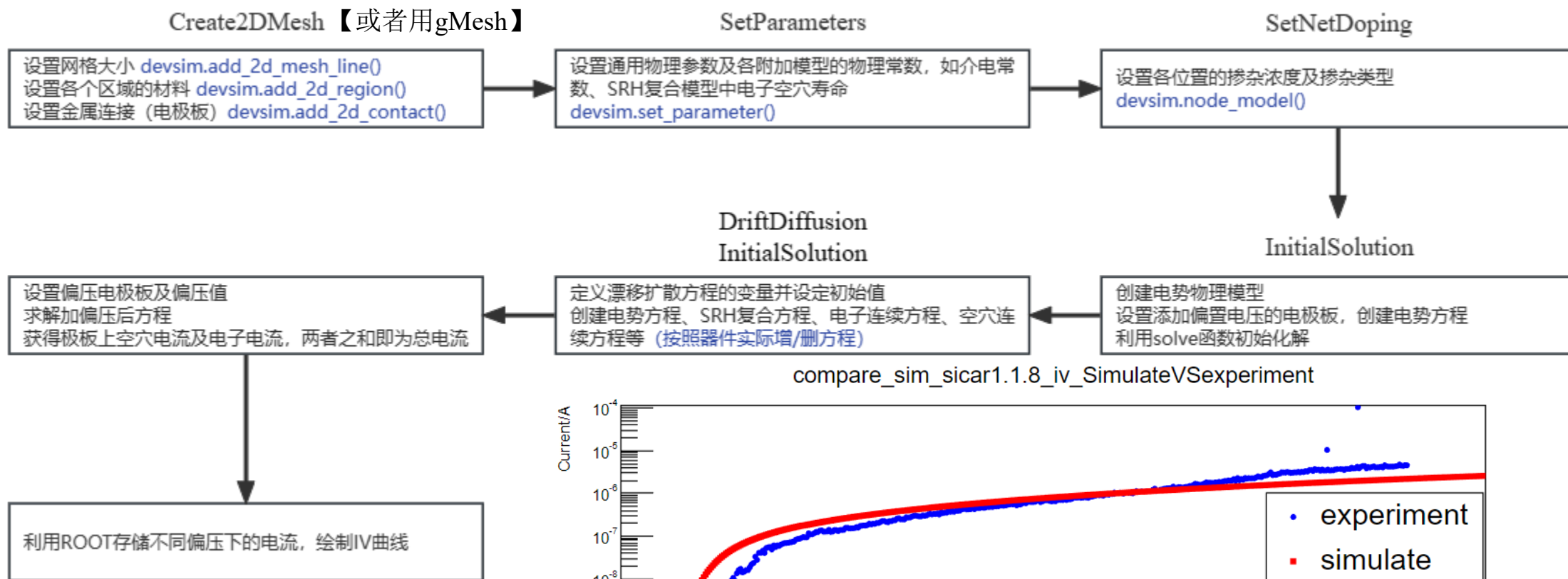
- 载流子传播模块根据各微元内的电场和所激发的载流子，在不同辐照条件下，确定所述载流子的运动轨迹并记录载流子平均俘获时间；然后根据肖克莱-拉莫定理和载流子平均俘获时间，估算在激光激励下所述LGAD模型内部产生的载流子引起的感应电流；
- 利用电子学读出模块模拟所述LGAD的电子学读出电路对所述感应电流进行处理后输出到示波器，得到不同辐照条件对应的仿真结果。



四、DEVSIM仿真C-V流程



四、DEVSIM仿真I-V流程



谢谢！